

Paradygmaty uczenia proceduralnego – przegląd wybranych metod

Paradigms of procedural learning – a review of selected methods

Adrian Andrzej Chrobak¹, Anna Tereszko², Szymon Jeziorko², Marcin Siwek³, Dominika Dudek³

¹Koło Naukowe Chorób Afektywnych, Uniwersytet Jagielloński *Collegium Medicum*

²Koło Naukowe Psychiatrii Dorosłych, Uniwersytet Jagielloński *Collegium Medicum*

³Zakład Zaburzeń Afektywnych, Katedra Psychiatrii, Uniwersytet Jagielloński *Collegium Medicum*

Neuropsychiatria i Neuropsychologia 2014; 9, 2: 62–70

Adres do korespondencji:

Adrian Andrzej Chrobak
Zakład Zaburzeń Afektywnych
Katedra Psychiatrii UJ CM
ul. M. Kopernika 21 A, 31-501 Kraków
e-mail: xchrobakx@interia.pl

Streszczenie

Uczenie proceduralne wiąże się z nabywaniem nowych umiejętności oraz sposobów wykonywania określonych zadań. Uczenie to podlega diagnozie neuropsychologicznej oraz neuropsychiatrycznej, która na podstawie deficytów w wykonaniu może wskazywać na strukturalne i funkcjonalne zaburzenia w obrębie mózgowia. Klasyczny podział umiejętności nabywanych podczas uczenia proceduralnego uwzględnia 4 ich rodzaje: poznawcze, percepcyjne, motoryczne oraz percepcyjno-motoryczne. Większość testów uczenia proceduralnego bada umiejętności poznawcze oraz percepcyjno-motoryczne. Niniejsze opracowanie skupia się na dwóch ostatnich rodzajach umiejętności, których nabywanie nazywane jest ogólnie uczeniem motorycznym. W warunkach naturalnych proces uczenia się motorycznego przebiega zarówno świadomie, jak i nieświadomie, w zależności od jego etapu. W celach diagnostycznych wykorzystuje się jednak przede wszystkim paradygmaty zakładające, iż uczenie jest utajone. Praca stanowi przegląd najpopularniejszych narzędzi służących do oceny nieświadomego uczenia motorycznego jako części diagnozy neuropsychologicznej oraz neuropsychiatrycznej. Przytoczone tu zadania mają często kilkudziesięcioletnią historię stosowania, co wpłynęło na znaczną zmianę zarówno samych narzędzi, obecnie wykorzystywanych najczęściej w wersji elektronicznej, jak i obszarów ich wykorzystania na polu naukowym oraz klinicznym. W pracy przedstawiono trzy ogólnodostępne testy: zadanie rysowania w lustrze, test prowadzenia wirnika oraz zadanie z pomiarem seryjnego czasu reakcji wraz z opisem metody, zastosowania, ich ograniczeń oraz podstaw neurobiologicznych. Zadanie rysowania w lustrze oraz test prowadzenia wirnika, oprócz uczenia motorycznego, są również dobrym narzędziem do oceny koordynacji wzrokowo-ruchowej.

Słowa kluczowe: uczenie motoryczne, zadanie rysowania w lustrze, test prowadzenia wirnika, zadanie z pomiarem seryjnego czasu reakcji.

Abstract

Procedural learning involves the acquisition of new skills or knowledge on how to perform specific tasks. Evaluation of procedural learning is part of neuropsychological and neuropsychiatric diagnosis. Deficits observed in such diagnosis can be the basis for the inference of structural and functional brain disorders. The classic division of skills acquired during procedural learning includes four types: cognitive, perceptual, motor and visuo-motor skills. Most of the tests examine cognitive and visuo-motor skills. This study focuses on the two latter types of skills, the acquisition of which is generally known as motor learning. In natural conditions motor learning occurs as both an implicit and explicit process, depending on its phase. However, paradigms used for diagnostic purposes assume that motor learning is an implicit process. This article provides an overview of the most popular tools used for the assessment of implicit motor learning as part of the neuropsychological and neuropsychiatric diagnosis. Tasks listed here often have decades-long history of use that resulted in significant changes in both the tasks' design – now performed most often on a computer – as well as the areas of their use in the scientific and clinical field. The paper presents three tasks: a mirror-drawing task, a pursuit rotor task and a serial reaction time task, with a description of the methods, their applications, limitations and neurobiological basis. The mirror-drawing task and pursuit rotor task can also be used as good tools to assess visual-motor coordination.

Key words: motor learning, mirror-tracing task, pursuit rotor task, serial reaction time task.

Uczenie motoryczne

Uczenie proceduralne wiąże się z nabywaniem nowych umiejętności oraz sposobów wykonywania określonych zadań. Z pojęciem uczenia ściśle związane jest pojęcie pamięci proceduralnej, która oznacza pamięć nabytych już umiejętności lub tak zwanej wiedzy „jak” (w przeciwieństwie do pamięci deklaratywnej związanej z wiedzą „co”). Uczenie proceduralne określane jest jako nieświadome, choć w przypadku znajomości warunków zadania oraz jego celu uznawane jest za świadome. W warunkach naturalnych proces uczenia zakłada udział zarówno komponentu świadomego, jak i nieświadomego (Seidler i Ashe 2008). Większość zadań służących do oceny uczenia proceduralnego skupia się jednak na procesach nieświadomych i niezależnym od woli nabywaniu umiejętności lub też wiedzy o nich.

Umiejętności nabywane podczas uczenia proceduralnego również mogą zostać podzielone ze względu na aktywizowane procesy:

- poznawcze – zwane również umiejętnościami intelektualnymi, wymagają procesów myślowych,
- percepcyjne – interpretacja prezentowanych informacji,
- motoryczne – ruch i kontrola mięśni,
- percepcyjno-motoryczne – zawierające elementy poprzednich, angażują myśli, odbiór i interpretację bodźca oraz umiejętności ruchowe.

Większość testów uczenia proceduralnego bada umiejętności poznawcze oraz percepcyjno-motoryczne, ze względu na trudności w całkowitym odseparowaniu percepcji oraz motoryki w zadaniach testowych. Niniejsze opracowanie skupia się na uczeniu motorycznym oraz percepcyjno-motorycznym.

Podstawowymi zmiennymi poddawany analizie w testach uczenia motorycznego były czas wykonania oraz liczba lub odsetek błędów. Z czasem wykonania wiąże się istotne prawo uczenia motorycznego mówiące, iż wraz z większą liczbą powtórzeń czas wykonania skraca się o określoną wartość empiryczną, określoną tak zwanym prawem potęgowym (Newell i Rosenbloom 1981; Newell 1991). Dalszy rozwój technik badawczych pozwala na szerszą analizę wyników poszczególnych zadań wykorzystujących uczenie motoryczne, które zostaną omówione przy poszczególnych metodach.

Najpopularniejsze narzędzia służące do oceny uczenia i pamięci proceduralnej jako części diagnozy neuropsychologicznej oraz neuro-

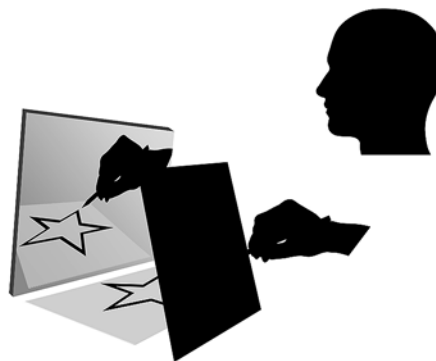
psychiatrycznej to zadanie rysowania w lustrze (*mirror-tracing task*), test prowadzenia wirnika (*pursuit rotor task* – PRT) oraz zadanie z pomiarem seryjnego czasu reakcji (*serial reaction time task* – SRTT).

Zadanie rysowania w lustrze

Metoda autorstwa George’a S. Snoddy’ego ma ponad 90-letnią historię. Znana jest również pod nazwą *mirror drawing task*, jednak nie jest to określenie nadane przez autora narzędzia. W wersji polskiej metoda opisywana jest przede wszystkim jako zadanie rysowania w lustrze, choć nazwa zadanie śledzenia w lustrze wydaje się bardziej zbliżona do oryginalnej. Pierwotnym zastosowaniem testu było badanie faz uczenia się oraz rodzajów procesów biorących udział w nieświadomym nabywaniu nowych umiejętności (Fowler 2011).

Metoda

Zadanie polega na odtworzeniu za pomocą ołówka kształtu 6-ramiennej gwiazdy podczas obserwacji jedynie odbicia rysunku w lustrze. Bezpośrednią obserwację rysunku uniemożliwia ustawiona przed badanym bariera. Uczestnik badania ma za zadanie utrzymać linię pomiędzy zewnętrznymi a wewnętrznymi brzegami gwiazdy, rysując jej kontur (ryc. 1.). Droga, będąca linią odtworzenia kształtu, wynosi w warunkach standardowych 500 mm (liczona w środku ścieżki), a szerokość ścieżki, po której należy prowadzić linię, mierzy 7 mm (Snoddy 1926; Stratton i wsp. 2007). Obecnie wykorzystywane wzory różnią się – w praktyce wykorzystuje się zarówno wersję pierwotną Snoddy’ego, jak i 5-ramienną wersję gwiazdy, dostępną w źródłach internetowych (Howard Hughes Medical Institute, 2014). Na podanej stronie znajduje się szablon testu do wydruku, który może zostać wykorzystany do badania polskiej populacji.



Ryc. 1. Zadanie rysowania w lustrze

W zależności od badania, procedura różni się również pod względem liczby powtórzeń podczas jednej próby w granicach od 10 do 50 powtórzeń, a także obecnością lub brakiem powtórzeń z czasowym odroczeniem wykonania (Capner i wsp. 2007; Stratton i wsp. 2007). Zadanie w wersji oryginalnej wykonywane było na papierze, jednak obecnie stosowane procedury uwzględniają również możliwość wykorzystania np. tabletek (Stratton i wsp. 2007).

Analiza wykonania zadania polegała na zliczaniu błędów w postaci zboczenia z wyznaczonej do rysowania ścieżki, pomiarze czasu przebywania poza wyznaczoną ścieżką oraz pomiarze czasu wykonania.

Zastosowanie i ograniczenia

Narzędzie znajduje zastosowanie w diagnostyce neuropsychologicznej i może być nieinwazyjną metodą przesiewową w kierunku uszkodzeń obszarów związanych z nabywaniem umiejętności motorycznych oraz koordynacją wzrokowo-ruchową. Pozwala na określanie rozległości deficytów w zakresie pamięci i uczenia się oraz ich różnicowanie pomiędzy pamięcią deklaratywną i proceduralną. Zadanie wykorzystywano w badaniach do oceny uczenia motorycznego u pacjentów z amnezją, chorobą Alzheimera, chorobą Huntingtona, a więc deficytami w zakresie pamięci deklaratywnej (Javadi i wsp. 2011). Badania sugerują również możliwość oceny zdolności przestrzennych na podstawie poziomu wykonania zadania (Alexander i wsp. 2002; Fowler 2011).

Ze względu na procedurę badania podczas stosowania testu należy zwrócić uwagę na ręczność osoby badanej. W zależności od ręczności czas wykonania oraz częstość popełnianych błędów mogą się znacznie różnić i prowadzić do mylnych wniosków. Badania Bhushana wskazują na szybsze wykonanie zadania przez osoby praworęczne w porównaniu z leworęcznymi w przypadku wykonywania zadania preferowaną przez badanych ręką. Znacznie lepsze wyniki w porównaniu z obiema wspomnianymi grupami osiągały jednak osoby oburęczne, uzyskujące istotnie niższe rezultaty zarówno w odniesieniu do czasu wykonania, jak i częstości popełnianych błędów (Bhushan i wsp. 2000).

Poziom wykonania zadania zdaje się również zależny od płci osoby badanej, jednak wyniki badań nie są jednoznaczne i wykazują istotną przewagę w czasie wykonania zadania raz mężczyzn (Ackerman i Cianciolo 1999; Fowler 2011), a raz kobiet (Alexander i wsp. 2002). We-

ług niektórych doniesień kobiety prezentowały istotnie większą poprawę poziomu wykonania zadania niż mężczyźni (Connor i wsp. 1978; Blatter 1983; Fowler 2011), choć część badań neguje istnienie jakichkolwiek różnic (Saccuzzo i wsp. 1996; Kass i Ahlers 1998).

Test ten ma jednak pewne ograniczenia wynikające z braku aktualnych norm oraz różnych wersji zadania będących w użyciu. Użycie wersji papierowej bądź komputerowej wymagałoby stworzenia oddzielnych norm. Potrzeba ta wynika przede wszystkim z właściwości sprzętu komputerowego, którego opóźniona reakcja mogłaby wpłynąć na wydłużenie czasu wykonania w porównaniu z wersją papierową.

Podstawy neurobiologiczne

Narzędzie to bada nabywanie umiejętności percepcyjno-motorycznych, co oznacza, iż deficyty w zakresie uczenia się danego zadania mogą mieć podłoże w uszkodzeniach zarówno drogi wzrokowej, jak i obszarów związanych z funkcjami motorycznymi. Badania z udziałem pacjentów z amnezją, u których stwierdzono uszkodzenia płata skroniowego wraz z hipokamperem, negują jakiegokolwiek deficyty w zakresie nabywania umiejętności rysowania figury w lustrze. Dowodzi to istnienia odrębnego systemu nabywania i przechowywania informacji o nabytych umiejętnościach proceduralnych, *stricte* motorycznych (Gabrieli i wsp. 1993). Deficyty w zakresie uczenia zadania wykazano natomiast w badaniach z udziałem pacjentów z atrofią mózdzku, u których zaznaczało się upośledzenie ruchu przy braku zaburzeń widzenia i obserwacji figury. W przypadku pacjentów, u których stwierdzono również atrofię pnia mózgu, zaobserwowano trudności w przystosowaniu do lustrzanego odbicia rysowanej figury (Sanes i wsp. 1990). Zadanie to jednak wykazuje pewne różnice w zakresie neurokorelatów w porównaniu z innymi testami badającymi zdolności percepcyjno-motoryczne, jak test prowadzenia wirnika. W przeciwieństwie do zadania prowadzenia wirnika, uszkodzenie prążkowia nie wpływa istotnie na poziom wykonania zadania rysowania w lustrze. Cavaco sugeruje adaptację motoryczną jako główny proces nabywania umiejętności rysowania w lustrze, co decyduje o większej specyficzności tej percepcyjno-motorycznej umiejętności (Cavaco i wsp. 2011). Oznacza to, że niskie wyniki w zakresie czasu wykonania oraz jego poprawności mogą wskazywać na uszkodzenia obszarów mózdzku oraz pnia mózgu jako dwóch ośrodków zaangażowanych

w uczenie motoryczne, wyłączając z oceny prążkowie, którego funkcje można ocenić z pomocą testu prowadzenia wirnika. Przed badaniem i podczas jego wykonywania należy wziąć również pod uwagę możliwość istnienia uszkodzeń drogi wzrokowej. W przypadku podejrzenia takiego uszkodzenia badanie należy poszerzyć o testy badające percepcję wzrokową. Test może mieć również zastosowanie w badaniach nad lateralizacją mózgu i zależnościami między ręcznością a zdolnościami wzrokowo-przestrzennymi (Nass i Gazzaniga 1987).

Test prowadzenia wirnika

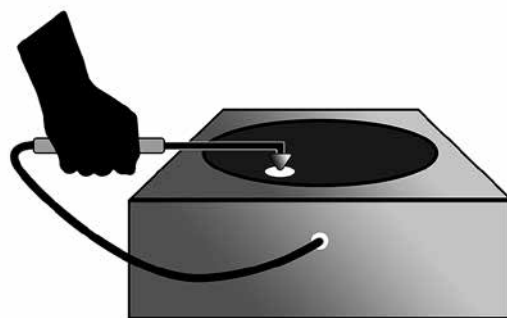
Test prowadzenia wirnika to zadanie umożliwiające badanie koordynacji wzrokowo-ruchowej, jak również proceduralnego uczenia się.

Metoda

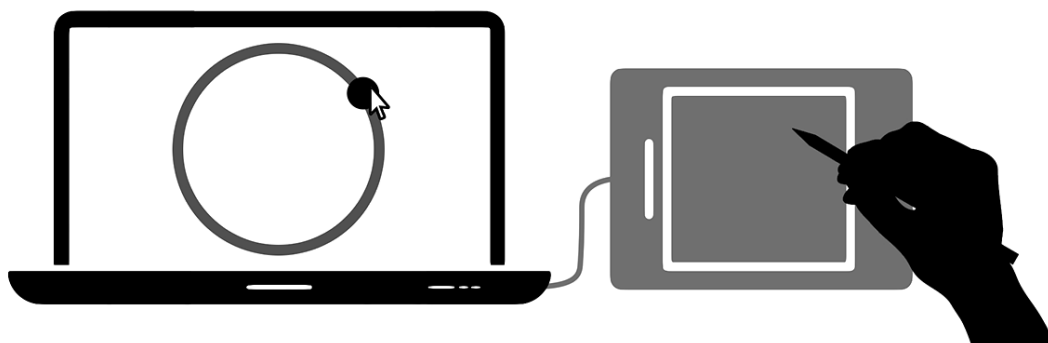
Początkowo stosowano do tego badania mechaniczne urządzenie poruszające metalową płytką po okręgu (ryc. 2.). Zadaniem badanego było utrzymanie wskaźnika z metalową końcówką tak, by dotykał płytki – celu. Zamykało to obwód, który uruchamiał zegar liczący sumaryczny czas, przez jaki badany utrzymywał wskaźnik na celu. Głównym badanym parametrem był więc czas, przez jaki wskaźnik stykał się z celem (*time on target*), i jego stosunek do całkowitego czasu badania (Ammons 1955).

Obecnie nadal istnieją urządzenia przeznaczone do tego zadania. Badany ma z ich zastosowaniem wodzić za poruszającym się światłem za pomocą wskaźnika z fotodetektorem, możliwe zaś do konfiguracji są takie zmienne, jak szybkość i kierunek poruszania się celu, czas badania i odpoczniku, liczba powtórzeń badania czy czułość detektora oraz kształt ścieżki, po której porusza się cel. Urządzenie zapisuje wynik pacjenta na komputerze, do którego jest podłączone (Dougherty i wsp. 1998).

Rozwój otwartego oprogramowania w ostatnich latach umożliwił uniezależnienie się od sprzętu przeznaczonego do wykonania tego zadania i przeprowadzenie badania w wersji cyfrowej. Jednym z narzędzi coraz częściej wykorzystywanych w pracach naukowych (Piper 2011) jest zadanie z baterii testów PEBL (Psychology Experiment Building Language 2012; Mueller i Piper 2014). Test może zostać użyty do badania populacji polskiej pod warunkiem przetłumaczenia instrukcji (bądź przekazania jej w formie ustnej badanemu). W wersji cyfrowej cel oraz okrąg, po którym się on porusza, wyświetlane są na monitorze komputera, badany ma zaś za zadanie wodzić kursorem za celem po okręgu za pomocą myszy lub rysika i ekranu dotykowego bądź cyfrowego tabletu graficznego (ryc. 3.). Wersja analogowa umożliwia pomiar jedynie parametru *time on target*, komputerowa, oprócz tego pomiaru, pozwala na przeprowadzenie innych, np. średniej odległości od środka celu w danym cyklu badania. Dzięki zapisowi współrzędnych określających pozycję kursora w dowolnym momencie badania możliwe jest także przeprowadzenie dokładniejszych analiz, np. płynności ruchu czy czasu, przez jaki kursor znajduje się na celu jednorazowo. Daje to także możliwość graficznej rekonstrukcji całej trasy przebytej przez kursor kierowany przez bada-



Ryc. 2. Test prowadzenia wirnika za pomocą urządzenia mechanicznego



Ryc. 3. Test prowadzenia wirnika za pomocą komputera i cyfrowego tabletu graficznego

nego w trakcie wykonywania zadania. Było to niewykonalne w przypadku urządzenia analogowego ze względu na jego konstrukcję i sposób uzyskiwania danych (Walecki i wsp. 2013).

Zastosowanie i ograniczenia

Pursuit rotor task wykorzystywany jest do oceny proceduralnego uczenia się (Van Gorp i wsp. 1999). Podstawowy parametr *time on target* pozwala na ocenę postępów uczenia się, jeżeli dla badanego zmniejsza się on wraz z kolejnymi powtórzeniami zadania. Wprowadzenie dodatkowych zmiennych umożliwia dostosowanie testu do potrzeb konkretnego badania, jak również dopasowanie go do badanej grupy. Do modyfikowalnych elementów zadania należą: liczba powtórzeń, czas pomiędzy powtórzeniami (odpoczynek), prędkość i kierunek poruszania się celu, kształt ścieżki, po której porusza się cel, obecność dystrakcji w trakcie badania lub w okresach odpoczynku pomiędzy powtórzeniami (Eysenck i Thompson 1966). Uczenie proceduralne zasadniczo nie jest zaburzone u pacjentów wykazujących braki w pamięci deklaratywnej (Ewert i wsp. 1989), co umożliwia wykorzystanie tego badania także u pacjentów z tego typu zaburzeniami.

Kolejnym zastosowaniem testu jest badanie zaburzeń ruchowych. Ocena dodatkowych parametrów wykonania zadania, np. średnia odległość kursora od celu, umożliwia wychwycenie i ocenę drobnych zaburzeń ruchowych na poziomie subklinicznym (Piper 2011).

Z jednej strony decyduje to o użyteczności testu w badaniach nad zaburzeniami ruchu. Możliwości, jakie daje *pursuit rotor task* w tym zakresie, to np. testowanie hipotez związanych z występowaniem drobnych zaburzeń motorycznych w jednostkach chorobowych, w których nie stanowią one charakterystycznego punktu obrazu klinicznego, ocena początku występowania tych zaburzeń w chorobach, w których ich obecność jest znana, czy określenie stopnia ich nasilenia i powiązanie go z zaawansowaniem choroby. Test prowadzenia wirnika wykorzystano do oceny zaburzeń uczenia proceduralnego m.in. w schizofrenii (Gomar i wsp. 2011), chorobie Alzheimera (van Halteren-van Tilborg i wsp. 2007; Pasgreta i wsp. 2013), zaburzeniach obsesyjno-kompulsyjnych (Roth i wsp. 2004), zespole Tourette'a (Marsh i wsp. 2005). Drobne, subkliniczne zaburzenia ruchowe, które można wykryć za pomocą tego testu, mogą nie mieć istotnego wpływu na proces diagnostyczny ani nawet na jakość życia pacjenta. Mogą jednak odzwierciedlać

podłoże i etiologię chorób neurologicznych lub psychiatrycznych. Co za tym idzie, *pursuit rotor task* może być wykorzystywany z powodzeniem w dociekaniach na temat neurobiologicznych podstaw chorób.

Z drugiej strony przeszkodę w badaniu proceduralnego uczenia się u chorych mogą stanowić występujące zaburzenia ruchowe, mogą one bowiem fałszować wyniki, dając w efekcie niepełny lub przekłamany obraz. Istotne jest zatem wzięcie pod uwagę potencjalnych zaburzeń motorycznych, jeżeli test prowadzenia wirnika ma zostać wykorzystany do badania proceduralnego uczenia się. Należy więc zachować ostrożność w stosowaniu narzędzia do tego celu w jednostkach chorobowych, w których zaburzenia motoryczne są elementem obrazu klinicznego. Nasilone zaburzenia ruchowe mogą zostać wychwycone w badaniu neurologicznym.

Pursuit rotor task jest zadaniem wymagającym od pacjenta koordynacji wzrokowo-ruchowej. Zaburzenia wzroku będące wynikiem chorób oka lub neurologicznych wpływających na przetwarzanie bodźców wzrokowych znajdują odbicie w wynikach testu (Thorsheim i wsp. 1974). To na podstawie informacji wzrokowych badany jest w stanie zlokalizować tor, po którym porusza się cel, ocenić prędkość jego poruszania się i co za tym idzie – przewidzieć pozycję celu w danym momencie. Samo badanie nie umożliwia różnicowania takich zaburzeń, które muszą być wykluczone np. w badaniu okulistycznym lub neurologicznym.

Podstawy neurobiologiczne

Badania nad proceduralnym uczeniem się z wykorzystaniem *pursuit rotor task* oraz funkcjonalnego obrazowania mózgu za pomocą pozytonowej tomografii emisyjnej (*positron emission tomography* – PET) wskazują neurobiologiczne mechanizmy tego procesu.

Podczas pierwotnego wykonywania zadania wykazano aktywację ośrodków kory motorycznej i ośrodków mózdkowych. Największa aktywność widoczna była w regionie lewej kory ruchowej. Zaobserwowano także istotną, chociaż mniejszą, aktywację prawej, tj. ipsilateralnej do ręki, którą wykonywano zadanie, kory ruchowej. Obustronnie zaobserwowano uaktywnienie dodatkowego pola ruchowego. Aktywność ośrodków podkorowych była widoczna przede wszystkim w tylnej części lewej skorupy i środku lewej istoty czarnej. Odnotowano duży wzrost regionalnego mózgowego przepływu krwi (*regional cerebral blood flow* – rCBF) w częściach

mózdzku od płata przedniego do dolnej części robaka. Podczas kolejnych powtórzeń ćwiczenia zaobserwowano, że wraz ze wzrostem parametru *time on target* zwiększył się regionalny przepływ krwi w lewej pierwszorzędowej korze ruchowej, lewym dodatkowym polu ruchowym i lewej poduszce wzgórza u praworęcznych badanych (Grafton i wsp. 1992). Szybkie uczenie się ćwiczenia okazało się także związane ze stopniowym wzrostem rCBF w obszarach kory przedruchowej, przedczołowej i zakrętu obręczy oraz spadkiem rCBF w obszarach wzrokowych kory potylicznej i skroniowej (Grafton i wsp. 1994). Sugeruje to istotną rolę obszarów wzrokowych, zmniejszającą się wraz z kolejnymi powtórzeniami na korzyść wewnętrznego modelu tworzonego przez badanego. Badania z udziałem osób z uszkodzeniami mózgowia poszerzają listę korelatów o kolejną strukturę podkorową – prążkowie, w wyniku którego uszkodzenia spada poziom wykonania testu (Cavaco i wsp. 2011). Potwierdzają one wcześniejsze obserwacje poczynione u pacjentów z chorobą Huntingtona, u których uszkodzenie prążkowie skutkowało zaburzoną uczeniem w teście prowadzenia wirnika oraz w SRTT. Nie stwierdzono natomiast zaburzeń podczas wykonywania zadania rysowania w lustrze (Gabrieli i wsp. 1997).

Nowsze badania nad systemami biorącymi udział w uczeniu motorycznym potwierdzają aktywność pierwszorzędowej kory ruchowej, kory ciemieniowej oraz okolic czołowo-przedruchowych w omawianym paradygmacie. Bardziej rozbudowana sieć połączeń między pierwszorzędową korą ruchową a korą ciemieniową stanowi predyktor lepszego nabycia umiejętności, to zaś może odzwierciedlać większą zdolność do integracji wzrokowo-ruchowej (Wu i wsp. 2014).

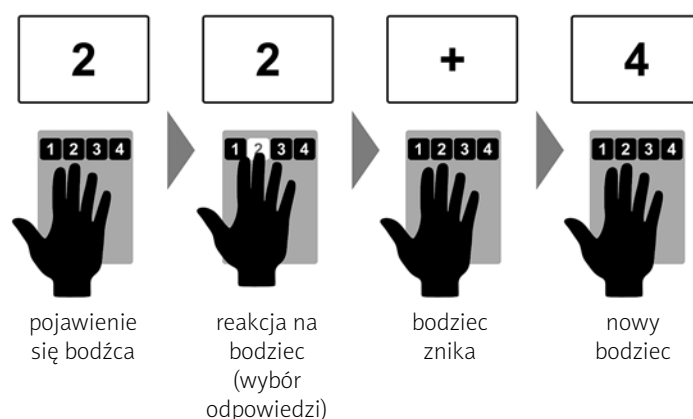
Na tej podstawie można wnioskować, że test prowadzenia wirnika jest szczególnie wrażliwy

na uszkodzenia wspomnianej sieci połączeń pomiędzy pierwszorzędową korą ruchową i korą ciemieniową, biorącej udział w integracji wzrokowo-przestrzennej, oraz prążkowie, które bierze udział w uczeniu się powtarzalnych sekwencji motorycznych.

Zadanie z pomiarem seryjnego czasu reakcji

Metoda

Serial reaction time task, test wykorzystywany w ocenie zdolności do nieświadomego proceduralnego uczenia się, jest zadaniem komputerowym mającym na celu pomiar czasu reakcji w odpowiedzi na bodziec. Zadanie ma wiele wersji, różniących się przede wszystkim rodzajem zastosowanego bodźca, którym może być jedna z czterech pozycji wskaźnika na ekranie bądź cyfry od 1 do 4. Każdemu z bodźców przyporządkowany jest przycisk na klawiaturze. Zadaniem uczestnika badania jest poprawne naciśnięcie przycisku odpowiadającego przedstawionemu bodźcowi (ryc. 4.). Kolejne bodźce prezentowane są w uporządkowanej sekwencji (np. 1-3-2-4-2-3-3-4-1-4-3-2), która powtarza się kilkakrotnie podczas całego zadania. Uczestnik nie jest o tym jednak informowany. Zarówno na początku, jak i na końcu badania, po kilku cyklach powtarzającej się uporządkowanej sekwencji, bodźce prezentowane są w losowej kolejności. Po ostatniej, losowej sekwencji następuje koniec badania. Podstawowymi parametrami służącymi do oceny poziomu wykonania zadania są czas reakcji oraz liczba popełnionych błędów (Robertson 2007). Obecnie dostępne są zmodyfikowane wersje narzędzia, w tym zadanie z 5 (Higgins i Breyse 2008), a nawet 6 dostępnymi bodźcami (Boyer i wsp. 2005). Używane są one jednak przede wszystkim w badaniach procesów uwagowych



Ryc. 4. Zadanie z pomiarem seryjnego czasu reakcji

zwierząt, m.in. gryzoni (Higgins i Breyse 2008; Bari i wsp. 2008).

Zastosowanie i ograniczenia

Zadanie to jest wykorzystywane do pomiaru zdolności do nieświadomego uczenia się, co ocenia się poprzez skrócenie czasu reakcji w kolejnych próbach. Wraz z kolejnymi cyklami uczestnik nieświadomie uczy się powtarzanej w zadaniu sekwencji, co przekłada się na szybszy czas reakcji (naciśnięcie przycisku w odpowiedzi na bodziec). Porównanie czasów reakcji w sekwencjach uporządkowanych i losowych (prezentowanych na początku i na końcu badania) pozwala zauważyć, że skrócenie czasu reakcji jest najbardziej widoczne w kolejnych blokach sekwencji uporządkowanych. Zmiany w zakresie reakcji na kolejne bodźce potwierdzają również badania potencjałów wywołanych (*event-related potentials* – ERPs) podczas wykonywania SRTT w postaci obniżenia ich amplitudy, co świadczy o mniejszej aktywacji w odpowiedzi na stymulację (Agam i wsp. 2010). Zmiana czasu reakcji następuje poprzez działanie dwóch oddzielnych mechanizmów. Pierwszy wynika z połączenia bodźca z oczekiwaną reakcją (*mapping*) – uczestnik uczy się obsługi interfejsu zadania i prawidłowej reakcji ruchowej na prezentowany bodziec wzrokowy, a skrócenie czasu reakcji obserwuje się nawet w kolejnych próbach przedstawiających losowe bodźce. Nie jest on więc związany z uczeniem się proceduralnym, a wynika jedynie z treningu wzrokowo-ruchowego. Mechanizm drugi to nieświadome przyswojenie sekwencji bodźców i przewidywanie przez uczestnika badania bodźców, które zostaną mu zaprezentowane w kolejnych próbach (Robertson 2007). Aby różnicować te mechanizmy, istotne jest, by na końcu zadania znalazła się część, w której prezentowane są bodźce losowe. W części z prezentowaną uporządkowaną sekwencją oba mechanizmy będą odgrywały rolę w poprawianiu się z kolejnymi próbami wyników, w części losowej będzie to jedynie przyswojona przez uczestnika umiejętność wykonywania zadania (trening wzrokowo-ruchowy), nie zaś znajomość sekwencji. Porównanie prób z losową i uporządkowaną sekwencją pozwala ocenić tylko proceduralne uczenie się sekwencji bodźców. Co więcej, gdy w trakcie wykonywania zadania sekwencja zastąpiona zostaje bodźcami losowymi, uczestnik zaczyna popełniać więcej błędów, naciśkając przyciski odpowiadające bodźcom z uporządkowanej sekwencji, których wystąpienie przewiduje.

Pewien problem stanowi aspekt nieświadomości w wykonywaniu zadania. Uczestnik nie powinien wiedzieć, że bodźce są mu prezentowane w sekwencji, a wyzwaniem jest upewnienie się, że tak jest w istocie. Niektórzy autorzy zaprzeczają zjawisku uczenia się i postulują istnienie wiedzy dotyczącej wystąpienia możliwej sekwencji przed wykonaniem zadania (Boyer i wsp. 2005).

Istnieje jednak kilka technik pozwalających ocenić świadomość występowania uporządkowanej sekwencji bodźców i uczenia się jej przez uczestnika, w zależności od przyjętej definicji uczenia nieświadomego. Według jednej z nich nieświadome uczenie można ocenić za pomocą swobodnego przypominania (*free recall*), gdzie uczestnik uczący się nieświadomie w znikomym stopniu pamięta elementy sekwencji po wykonaniu zadania w przeciwieństwie do uczestnika uczącego się świadomie (Willingham i Goedert-Eschmann 1999). Uczenie nieświadome można również zdefiniować jako takie, w którym możliwe jest, aby umiejętność wymagana do wykonania zadania posiadał pacjent z amnezją, niezdolny nie tylko do zapamiętania uporządkowanej sekwencji, lecz w ogóle do wykonywania zadania kiedykolwiek (Reber i Squire 1994).

Obie definicje utożsamiają świadomość z nabywaniem jedynie pamięci deklaratywnej. Celem potwierdzenia, że uczenie odbywało się nieświadomie, jest badanie pamięci proceduralnej. Zakłada to pewną binarność – uczestnik albo jest, albo nie jest świadomy uczenia się, podczas gdy niektóre, zarówno starsze, jak i nowsze, badania sugerują, że podział taki jest arbitralny. Wskazuje się, że świadomość jako taka daje się określić bardziej jako spektrum (Persaud i wsp. 2007), a uczenie jawne i utajone nie wykluczają się nawzajem (Willingham i Goedert-Eschmann 1999). Nie ma jednoznacznej definicji i uzgodnionej techniki umożliwiającej dokładne określenie stanu świadomości uczestnika wykonującego zadania. Wydaje się jednak, że nieświadome uczenie się jest odpowiedzialne za wynik osiągnięty przez uczestnika przynajmniej w jakimś stopniu.

Techniką pozwalającą na pewien wgląd w mechanizmy świadomego i nieświadomego uczenia się, której wartość poparta jest funkcjonalnymi badaniami obrazowymi mózgu (Willingham i wsp. 2002), jest przedstawienie uczestnikowi dwóch sekwencji. Różnią się one np. kolorem bodźca, a uczestnika informuje się, że tylko jeden kolor związany jest z sekwencją, drugi zaś oznacza bodźce losowe. Porównanie wyników uczestnika w uczeniu się jednej i drugiej sekwencji pozwala na ocenę i porównanie uczenia się świadomego i nieświadomego, chociaż nie

rozwiązuje ostatecznie problemu braku jasnej definicji świadomości uczenia się.

Podstawy neurobiologiczne

Badania z udziałem pacjentów z uszkodzeniami mózdku donoszą o istotnie niższych wynikach SRTT wśród chorych niż w grupie kontrolnej, co sugeruje rolę mózdku w utajonym uczeniu się sekwencji w zadaniu (Seidler i Ashe 2008). Dane uzyskane z neuroobrazowania (z wykorzystaniem m.in. funkcjonalnego rezonansu magnetycznego oraz PET) wykazały poza aktywacją pierwszorzędowej kory ruchowej, zakrętu obręczy, obszarów kory ciemieniowej i potylicznej, a także jąder podstawy (Seidler i wsp. 2005; Willingham 1999), znaczny udział mózdku w wykonywaniu zadania (Seidler i wsp. 2002; Penhune i Doyon 2005). Eksperymenty z użyciem przezczaszkowej stymulacji magnetycznej (*transcranial magnetic stimulation* – TMS) dowodzą specyficznego udziału prawej półkuli mózdku w procesie uczenia się, niezależnie od ręki, którą wykonywane było zadanie (Seidler i Ashe 2008). Jednak badania z udziałem pacjentów z uszkodzeniami regionów mózdku wykazały brak uczenia się w trakcie wykonywania zadania ręką ipsilateralną do strony uszkodzenia (Gómez-Beldarrain i wsp. 1998). Wskazuje to na możliwość określenia strony uszkodzenia mózdku z pomocą wspomnianego testu, co może również być przydatne w trakcie diagnozy zaburzeń występujących w „poznawczo-emocjonalnym zespole mózdkowym” (Starowicz-Filip i wsp. 2013).

Autorzy doniesień zwracają jednak uwagę na aktywację mózdku jedynie podczas ekspresji uczenia się, to znaczy reakcji na uczoną sekwencję. Nie wykazano natomiast istotnej aktywacji tego obszaru podczas kodowania sekwencji (Seidler i wsp. 2002; Penhune i Doyon 2005). Oznacza to, że rolę mózdku w uczeniu się tego typu zadania motorycznego jest optymalizacja ruchu w celu wygenerowania stabilnej i precyzyjnej odpowiedzi (Penhune i Doyon 2005). Sugestie te prowadzą do wniosku, że w zależności od uszkodzonego obszaru upośledzone mogą zostać różne fazy nabywania umiejętności motorycznych w zakresie uczenia się sekwencji. Prowadzi to jednak do wspólnego efektu w postaci gorszych wyników w SRTT i zaburzonych umiejętności motorycznych lub wręcz ich braku.

Wspomniane badania osób z chorobą Huntingtona wskazują na udział podczas wykonywania tego testu także prądkowia, które uczest-

niczy w uczeniu się powtarzalnych sekwencji motorycznych (Willingham i Koroshetz 1993; Gabrieli i wsp. 1997).

Piśmiennictwo

1. Ackerman PL, Cianciolo AT. Psychomotor abilities: via touch-panel testing: measurement innovations, construct, and criterion validity. *Hum Performance* 1999; 12: 231-273.
2. Agam Y, Huang J, Sekuler R. Neural correlates of sequence encoding in visuomotor learning. *J Neurophysiol* 2010; 103: 1418-1424.
3. Alexander GM, Packard MG, Peterson BS. Sex and spatial position effects on object location memory following intentional learning of object identities. *Neuropsychologia* 2002; 40: 1516-1522.
4. Ammons RB. Rotary pursuit apparatus. I. Survey of variables. *Psychol Bull* 1955; 52: 69-76.
5. Bari A, Dalley JW, Robbins TW. The application of the 5-choice serial reaction time task for the assessment of visual attentional processes and impulse control in rats. *Nat Protoc* 2008; 3: 759-767.
6. Bhushan B, Dwivedi CB, Mishra R, Mandal MK. Performance on a mirror drawing task by non-right handers. *J Gen Psychol* 2000; 127: 271-278.
7. Blatter P. Training in spatial ability: a test of Sherman's hypothesis. *Percept Mot Skills* 1983; 57: 987-992.
8. Boyer M, Destrebecqz A, Cleeremans A. Processing abstract sequence structure: learning without knowing, or knowing without learning? *Psychol Res* 2005; 69: 383-398.
9. Capner M, Scarcia M, Graham D. Establishing the psychometric properties of measures of implicit memory. *Aust J Psychol* 2007; 59: 51-62.
10. Cavaco S, Anderson SW, Correia M, et al. Task-specific contribution of the human striatum to perceptual-motor skill learning. *J Clin Exp Neuropsychol* 2011; 33: 51-62.
11. Connor JM, Schackman M, Serbin LA. Sex-related differences in response to practice on visual-spatial test and generalization to a related test. *Child Dev* 1978; 49: 24-29.
12. Dougherty DM, Bjork JM, Bennett RH. Effects of alcohol on rotary pursuit performance: A gender comparison. *Psychol Rec* 1998; 48: 393-405.
13. Ewert J, Levin HS, Watson MG, Kalisky Z. Procedural memory during posttraumatic amnesia in survivors of severe closed head injury. Implications for rehabilitation. *Arch Neurol* 1989; 46: 911-916.
14. Eysenck HJ, Thompson W. The effects of distraction on pursuit rotor learning, performance and reminiscence. *Br J Psychol* 1966; 57: 99-106.
15. Fowler K. Gender differences in mirror-tracing task (Thesis). Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA 2011.
16. Gabrieli JD, Corkin S, Mickel SF, Growdon JH. Intact acquisition and long-term retention of mirror-tracing skill in Alzheimer's disease and in global amnesia. *Behav Neurosci* 1993; 107: 899-910.
17. Gabrieli JD, Stebbins GT, Singh J, et al. Intact mirror-tracing and impaired rotary-pursuit skill learning in patients with Huntington's disease: evidence for dissociable memory systems in skill learning. *Neuropsychology* 1997; 11: 272-281.
18. Gomar JJ, Pomarol-Clotet E, Sarró S, et al. Procedural learning in schizophrenia: reconciling the discrepant findings. *Biol Psychiatry* 2011; 69: 49-54.
19. Gómez-Beldarrain M, García-Moncó JC, Rubio B, Pascual-Leone A. Effect of focal cerebellar lesions on proce-

- dural learning in the serial reaction time task. *Exp Brain Res* 1998; 120: 25-30.
20. Grafton ST, Mazziotta JC, Presty S, et al. Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET. *J Neurosci* 1992; 12: 2542-2548.
21. Grafton ST, Woods RP, Tyszka M. Functional imaging of procedural motor learning: relating cerebral blood flow with individual subject performance. *Hum Brain Mapp* 1994; 1: 221-234.
22. Higgins G, Breyse N. Rodent model of attention: the 5-choice serial reaction time task. W: *Current Protocols in Pharmacology*. Enna SJ (red.). John Wiley & Sons, New York 2008.
23. Howard Hughes Medical Institute. Classroom Activities: Mirror-Tracing Activity. Źródło: <http://www.hhmi.org/biointeractive/classroom-activities-mirror-tracing-activity> [Dostęp: 12 lipca 2014].
24. Javadi AH, Walsh V, Lewis PA. Offline consolidation of procedural skill learning is enhanced by negative emotional content. *Exp Brain Res* 2011; 208: 507-517.
25. Kass SJ, Ahlers RH. Eliminating gender differences through practice in an applied visual spatial task. *Hum Performance* 1998; 11: 337-349.
26. Marsh R, Alexander GM, Packard MG, et al. Perceptual-motor skill learning in Gilles de la Tourette syndrome. Evidence for multiple procedural learning and memory systems. *Neuropsychologia* 2005; 43: 1456-1465.
27. Mueller ST, Piper BJ. The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *J Neurosci Methods* 2014; 222: 250-259.
28. Nass RD, Gazzaniga MS. Lateralization and specialization in human central nervous system. W: *Handbook of physiology: The nervous system*. Vol. 5. Higher functions of the brain. Plum F (red.). The American Physiological Society, Bethesda, MD 1987; 701-761.
29. Newell KM. Motor skill acquisition. *Annu Rev Psychol* 1991; 42: 213-237.
30. Newell A, Rosenbloom PS. Mechanisms of skill acquisition and the law of practice. W: *Cognitive skills and their acquisition*. Anderson JR (red.). Erlbaum, Hillsdale, NJ 1981; 1-55.
31. Pasgreta K, Feit J, Nowińska E, et al. Motor procedural learning in individuals with mild and moderate Alzheimer's disease compared to healthy subjects, 1867. *European Psychiatry* 2013; 28 Suppl 1. Elsevier, ISSN: 0924-9338.
32. Penhune VB, Doyon J. Cerebellum and M1 interaction during early learning of timed motor sequences. *Neuroimage* 2005; 26: 801-812.
33. Persaud N, McLeod P, Cowey A. Post-decision wagering objectively measures awareness. *Nat Neurosci* 2007; 10: 257-261.
34. Piper BJ. Age, handedness, and sex contribute to fine motor behavior in children. *J Neurosci Methods* 2011; 195: 88-91.
35. Psychology Experiment Building Language, computer software 2012. Available from: <http://pebl.sourceforge.net>.
36. Reber PJ, Squire LR. Parallel brain systems for learning with and without awareness. *Learn Mem* 1994; 1: 217-229.
37. Robertson EM. The serial reaction time task: implicit motor skill learning? *J Neurosci* 2007; 27: 10073-10075.
38. Roth RM, Baribeau J, Milovan D, et al. Procedural and declarative memory in obsessive-compulsive disorder. *J Int Neuropsychol Soc* 2004; 10: 647-654.
39. Saccuzzo DP, Craig AS, Johnson NE, et al. Gender differences in dynamic spatial abilities. *Pers Individ Dif* 1996; 21: 599-607.
40. Sanes JN, Dimitrov B, Hallett M. Motor learning in patients with cerebellar dysfunction. *Brain* 1990; 113: 103-120.
41. Seidler RD, Ashe J. Procedural learning: cerebellum models. W: *Encyclopedia of Neuroscience*. Squire L (red.). Elsevier Press, Oxford 2008.
42. Seidler RD, Purushotham A, Kim SG, et al. Cerebellum activation associated with performance change but not motor learning. *Science* 2002; 296: 2043-2046.
43. Seidler RD, Purushotham A, Kim SG, et al. Neural correlates of encoding and expression in implicit sequence learning. *Exp Brain Res* 2005; 165: 114-124.
44. Snoddy GS. Learning and stability. *J Appl Psychol* 1926; 10: 1-36.
45. Starowicz-Filip A, Milczarek O, Kwiatkowski S i wsp. Rola mózdzku w regulacji funkcji poznawczych – ujęcie neuropsychologiczne. *Neuropsychiatria i Neuropsychologia* 2013; 8: 24-31.
46. Stratton SM, Liu YT, Hong SL, et al. Snoddy (1926) revisited: time scales of motor learning. *J Mot Behav* 2007; 39: 503-515.
47. Thorsheim HI, Houston L, Badger C. Visual and kinesthetic components of pursuit-tracking performance. *J Mot Behav* 1974; 6: 199-203.
48. van Gorp WG, Altshuler L, Theberge DC, Mintz J. Declarative and procedural memory in bipolar disorder. *Biol Psychiatry* 1999; 46: 525-531.
49. van Halteren-van Tilborg IA, Scherder EJ, Hulstijn W. Motor-skill learning in Alzheimer's disease: a review with an eye to the clinical practice. *Neuropsychol Rev* 2007; 17: 203-212.
50. Walecki P, Lasoń W, Kunc M, et al. Analysis of tremor in motor learning task. *Bio-Algorithms and Med-Systems* 2013; 9: 45-52.
51. Willingham DB. The neural basis of motor-skill learning. Conscious modes of motor control and motor skill 1999; 8: 178-182.
52. Willingham DB, Goedert-Eschmann K. The relation between implicit and explicit learning: evidence for parallel development. *Psychol Sci* 1999; 10: 531-534.
53. Willingham DB, Koroshetz WJ. Evidence for dissociable motor skills in Huntington's disease patients. *Psychobiology* 1993; 21: 173-182.
54. Willingham DB, Salidis J, Gabrieli JD. Direct comparison of neural systems mediating conscious and unconscious skill learning. *J Neurophysiol* 2002; 88: 1451-1460.
55. Wu J, Srinivasan R, Kaur A, Cramer SC. Resting-state cortical connectivity predicts motor skill acquisition. *Neuroimage* 2014; 91: 84-90.